

# **PROJECT OF AN INTELLIGENT DIFFERENTIALY DRIVEN TWO WHEELS PERSONAL VEHICLE (ID2TWV)**

## **SUB TITLE**

### **AN INTELLIGENT SCHEME FOR ID2TWV MOTION CONTROL USING A FUZZY LOGIC APPROACH**

Arwani\*, EndraPitowarno\*\*

\*Mahasiswa \*\*Dosen Pembimbing

Jurusan Teknik Mekatronika

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

#### **Abstrak**

Kendaraan dua roda yang mempunyai keseimbangan ini mempunyai prinsip kerja berdasarkan inverted pendulum dan sangat cocok digunakan sebagai sarana transportasi pribadi. Kontrol gerak maju dan mundurnya berdasarkan derajat kemiringan kendaraan akibat perubahan titik berat pengemudi. Metode kontrol yang baik diperlukan agar kendaraan tetap dalam posisi seimbang saat bergerak maju dan mundur dengan kecepatan yang berbeda-beda.

Dalam proyek akhir ini digunakan pendekatan Logika Fuzzy sebagai kontrol pergerakan kendaraan ini. Metode ini merupakan metode kontrol yang cukup handal untuk diaplikasikan pada sistem yang mempunyai masukan lebih dari satu seperti pada kendaraan ini. Masukan sistem pada kendaraan ini adalah kemiringan kendaraan yang diperoleh dari sensor gyroskop dan selisih kemiringan yang diperoleh dari data saat ini dikurangi dengan data sebelumnya sedangkan outputnya adalah nilai PWM untuk menggerakkan masing-masing motor.

*Kata kunci: inverted pendulum, logika fuzzy, pwm*

#### **1. Pendahuluan**

Di era globalisasi yang serba canggih, transportasi sudah menjadi suatu kebutuhan yang sangat diperlukan manusia untuk melakukan aktifitas sehari – hari. Salah satu alat transportasi yang populer pada saat ini adalah alat transportasi pribadi yang hanya khusus untuk satu orang. Alat transportasi seperti ini harus dirancang sekecil mungkin agar pengemudi bisa leluasa dalam mengendalikannya. Penggunaan dua roda kiri dan kanan merupakan model yang paling banyak diujicobakan. Alat

transportasi yang menggunakan prinsip inverted pendulum dengan model seperti ini memerlukan kontrol yang baik dan handal untuk menjaga agar kendaraan tetap dalam kondisi seimbang terutama pada saat bergerak. Salah satu metode kontrol yang dapat diterapkan pada kendaraan tersebut adalah dengan menggunakan Logika *Fuzzy*. Metode ini dipilih karena kehandalannya dan bersifat adaptif terhadap sistem yang di kontrolnya. Metode ini mengharuskan masukan yang lebih dari satu, dalam sistem kendaraan ini, masukannya adalah kemiringan kendaraan yang diperoleh dari

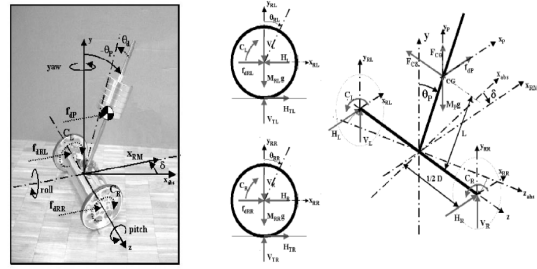
sensor gyroskop dan selisih kemiringan yang diperoleh dari data saat ini dikurangi data sebelumnya sedangkan outputnya adalah nilai PWM untuk menggerakkan masing-masing motor.

## 2. Teori Penunjang

### Inverted Pendulum

Secara umum, suatu pendulum selalu bergerak kembali ke posisi kesetimbangannya. Waktu yang diperlukan untuk mencapai posisi kesetimbangannya bergantung pada jarak antara titik tumpu dan titik beratnya. Pendulum terbalik (*inverted pendulum*) adalah sistem pendulum yang titik beratnya berada di atas titik tumpunya sehingga kesetimbangan yang dapat dicapai merupakan kesetimbangan labil. Kesetimbangan ini tidak mudah dicapai.

Dalam penelitian JOE: A Mobile, *Inverted Pendulum* menggunakan 3 Degree of Freedom (DoF) (Grasser dkk, 2001). Sistem dapat berputar terhadap sumbu z (*pitch*), pergerakannya dideskripsikan sebagai posisi P ( $\theta_P$ ) dan  $\omega_P$  (kecepatan sudut/*angular velocity*). Pergerakan linier dideskripsikan dalam translasi ( $x_{RM}$ ) dan kecepatan linier ( $v_{RM}$ ). Perputaran sumbu vertikal (*yaw*) dikarenakan putaran roda. Putaran tersebut dapat dideskripsikan sebagai  $\delta$  dan kecepatan sudut  $d(\delta)$ . *Modeling* sistem JOE dapat digambarkan sebagai berikut (Grasser dkk, 2001):



Gambar di atas adalah gambar *inverted pendulum* pada JOE sistem. *State space* variable yang mempengaruhi dan dapat diubah yaitu (Grasser dkk, 2001):

$x_{RM}$	: <i>straight line position</i> (m)
$v_{RM}$	: <i>speed line position</i> (m/s)
$\theta_P$	: <i>pitch angle</i> (rad)
$\omega_P$	: <i>pitch rate</i> (rad/s)
$\delta$	: <i>yaw angle</i> (rad)
$d(\delta)$	: <i>yaw rate</i> (rad/s)

Persamaan untuk masing-masing roda antara lain (Grasser dkk, 2001):

$${}^R_{RL}M_{RL} = f_{dRL} - H_L + H_{TL}$$

$${}^R_{RL}M_{RL} = V_{TL} - M_{RLg} - V_L$$

$${}^R_LJ_L = C_L - H_{TLR}$$

Sedangkan persamaan untuk *chassis*-nya antara lain (Grasser dkk, 2001):

$${}^R_{RL}M_F = f_{dF} + H_R + H_L$$

$${}^R_{RL}M_F = V_R - V_L - M_{Fg} + F_{C\theta}$$

$${}^R_FJ_{F\theta} = (V_R + V_L)L\sin\theta_F$$

$${}^R_FJ_{F\theta} = (H_L - H_R)\frac{d}{dt}$$

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa sistem pendulum terbalik merupakan sistem yang non linier yang tidak mudah dikendalikan dengan sistem kendali konvensional. Karena itu dalam makalah ini disajikan penerapan kendali logika *fuzzy* untuk mengendalikan sistem non linier.

Keuntungan dari kendali logika *fuzzy* adalah sistem ini tidak membutuhkan model persamaan matematika dari sistem.

### **Logika Fuzzy**

Teknik *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1958. Seiring perkembangan jaman, *Fuzzy* banyak dipergunakan sebagai aplikasi kontrol karena teknik ini bersifat adaptif terhadap sistem dan merupakan teknik kontrol yang cukup handal dalam sistem-sistem skala besar maupun kecil. Logika *Fuzzy* merupakan logika yang mempunyai tingkat kekaburan antara nilai benar dan salah. Dalam teori ini, sebuah nilai dapat bernilai benar dan salah dalam waktu yang bersamaan namun berapa besar nilai benar dan salahnya tergantung bobot keanggotaan yang dimilikinya.

Nilai benar dan salah dalam rentang 0 (nol) hingga 1 (satu), berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai yaitu 1 (satu) atau 0 (nol). Logika *fuzzy* digunakan untuk menerjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (linguistic), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat dan sangat cepat. Penentuan batasan kecepatan atau hal-hal lain yang bersifat kabur tergantung pada aturan *fuzzy* yang telah disepakati oleh perancanganya,

misalnya bila dianggap antara 0 sampai 20 km/jam adalah lambat, 20 sampai 40 km/jam adalah cukup dan seterusnya.

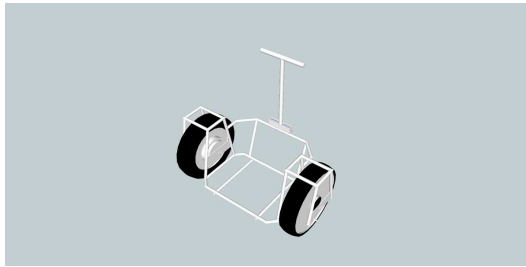
### **Sensor Kemiringan**

Sensor *gyro* adalah sensor yang mendeteksi perubahan kemiringan dari suatu objek yang bergerak. Sensor *gyro* dapat digunakan pada robot atau kendaraan dengan aktuator dua roda seperti kendaraan *segway* dan dapat digunakan pada objek seperti helikopter untuk keperluan autopilot. Sensor *gyro* dapat berguna untuk sensor posisi, perpindahan dan sensor sudut.

Pada sistem balancing kendaraan roda dua ini dibutuhkan sensor *gyro* untuk mendeteksi kemiringan kendaraan yang tidak stabil pada saat sistem sedang dijalankan. Ketidakstabilan tersebut berupa pergerakan kendaraan dalam bentuk gerak *roll*, dan *pitch*. Jenis sensor yang digunakan tipe *hitachi H48C*. H48C adalah sensor yang biasa digunakan untuk mendeteksi kemiringan robot. Sensor ini juga mampu mendeteksi gaya gravitasi.

### 3. Perancangan Sistem

#### Perancangan Alat

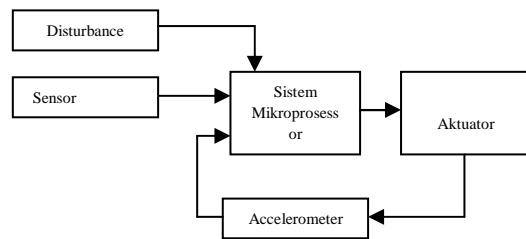


Perancangan mekanik pada sistem ini didasarkan pada model yang *compact* dan ringkas. Pada model mekaniknya sendiri berdasarkan *Inverted pendulum*, dengan pendulum yang di rancang vertikal sehingga dapat menyeimbangkan pendulum. Sistem mekanik tersebut menggunakan 2 buah motor DC yang memiliki torsi kuat, dan dipasang pada *casis* kendaraan pada titik tengah pendulum sehingga pendulum memiliki center dalam melakukan *balance*.

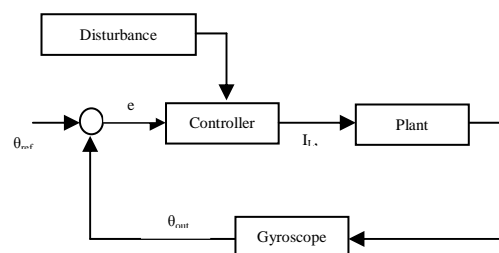
#### Perancangan Kontrol

Sistem kontrol elektronik ini terdiri dari tiga bagian yaitu sensor, mikroprosessor dan aktuator. Sensor kendaraan ini adalah gyroskop sebagai sensor keseimbangan dan *rotary encoder* sebagai sensor kecepatan tiap motor. Sebagai pemroses sistem ini adalah mikrokontroller 8 bit yang didalamnya sudah terintegrasi ADC, fungsi dari ADC ini adalah untuk mengkonversi tegangan analog dari sensor ke dalam besaran biner yang nantinya diolah dalam mikrokontroller. Aktuator kendaraan ini adalah motor DC yang dihubungkan ke

roda sebagai penggerak utama dari kendaraan ini.



Gambar diatas adalah Diagram blok sistem kendaraan. Dalam mengaplikasikan *fuzzy* kedalam system mikroprosessor, digunakan pemrograman dengan bahasa C dimana mikrokontroller yang kita gunakan sudah mendukung bahasa ini, Bahasa pemrograman ini nantinya kita compile agar menghasilkan kode-kode hexa yang dapat dimengerti oleh mikrokontroller. Selain itu bahasa ini merupakan bahasa tingkat tinggi yang lebih mudah dimengerti oleh manusia.



Gambar diatas adalah Diagram blok kontrol kendaraan. Kontrol ini memiliki masukan berupa data kemiringan kendaraan dari sensor gyroskop serta disturbance yang diberikan dari luar. Output dari control ini berupa arus yang dialirkan pada kedua motor sebagai penggerak utamanya.

## Perancangan Fuzzy

Sistem logika *fuzzy* ialah sistem yang berhubungan langsung dengan konsep *fuzzy* (yaitu himpunan *fuzzy*, variabel linguistik dan lainnya). Secara garis besar dibedakan menjadi tiga bagian, yakni sistem logika *fuzzy* murni, sistem logika *fuzzy* Takagi – Sugeno dan sistem logika *fuzzy* dengan fuzzyfikasi dan defuzzyfikasi. Dari ketiga sistem tersebut sistem logika *fuzzy* dengan fuzzyfikasi dan defuzzyfikasi memiliki keunggulan tersendiri.

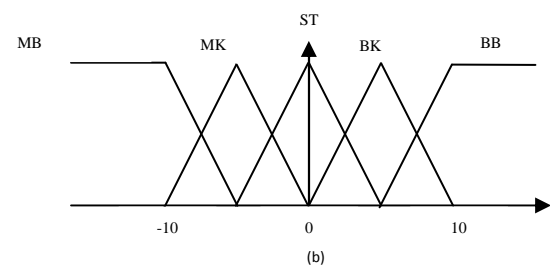
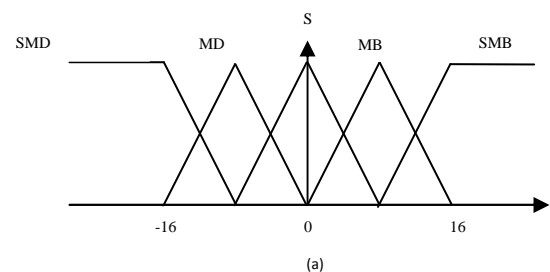
Keunggulan sistem ini, pertama masukan dan keluaran merupakan variabel yang nyata, kedua sistem ini menyediakan hubungan untuk digabungkan dengan if-then rules dari tenaga ahli, ketiga, memiliki kebebasan untuk menentukan jenis fuzzyfikasi, mesin penalaran *fuzzy* dan defuzzyfikasi, sehingga dapat memilih atau menentukan sistem logika *fuzzy* mana yang paling sesuai untuk mengendalikan suatu *plant*.

Kontrol kestabilan sistem ini menggunakan sensor *gyro*. Output dari sensor *gyro* yaitu besaran koordinat X. Besaran koordinat X masuk ke kontroler kemudian diolah dan menghasilkan keluaran berupa frekwensi yang nantinya diubah menjadi tegangan untuk mengontrol kecepatan motor. Kontrol yang digunakan adalah jenis kontrol logika *fuzzy*. Input dari kontroler logika *fuzzy* adalah input *error* dan input  $\Delta error$

koordinat X. Kedua input ini akan dilanjutkan ke proses fuzzyfikasi sehingga menghasilkan keluaran berupa frekwensi untuk selanjutnya diubah menjadi tegangan pada rangkaian frequency to voltage yang akan diteruskan ke driver motor.

Dari input yang dihasilkan oleh *gyro*, akan dibentuk dua buah membership function yaitu membership function kemiringan kendaraan yang datanya diperoleh secara langsung dari nilai x pada *gyro* dan membership function selisih kemiringan yang datanya diperoleh dari nilai set point dikurangi dengan nilai x pada saat ini yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta \text{kemiringan} = \text{Set point} - \text{nilai x gyro}$$



Gambar diatas adalah *membership Function* dari input sistem ini. Gambar a adalah *membership function* dari kemiringan, gambar b adalah *membership function* dari selisih kemiringan, masing-

masing dari *membership function* ini dibagi menjadi 5 buah *range*

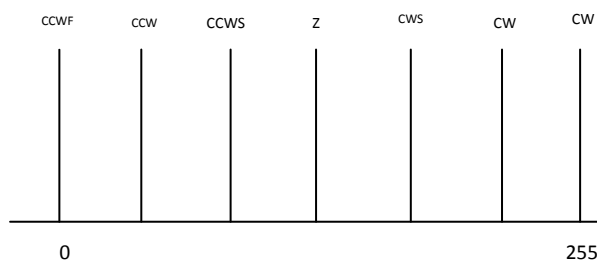
Range-range pada *membership function* kemiringan diberikan notasi-notasi seperti diatas yaitu:

SMD :Sangat Miring Depan  
MD :Miring Depan  
S :Seimbang  
MB :Miring Belakang  
SMB :Sangat Miring Belakang

Sedangkan Range-range pada *membership function* selisih kemiringan diberikan notasi seperti berikut:

MB :Maju Besar  
M :Maju  
ST :Stabil  
B :Belakang  
BB :Belakang Besar

Dari *membership function* kedua input diatas, dapat didesain output dari control ini yang *membership function* nya seperti pada gambar berikut:



*Membership function* output dari control fuzzy ini memiliki 7 buah *range* dan dinotasikan seperti berikut:

CCWF : Counter Clock Wise Fast  
CCW : Counter Clock Wise  
CCWS : Counter Clock Wise Slow  
Z : Zero  
CWS : Clock Wise Slow  
CW : Clock Wise  
CWF : Clock Wise Fast

Pada kontrol logika fuzzy terdapat peraturan-peraturan yang harus ada yang berfungsi untuk menghasilkan nilai output. Peraturan-peraturan tersebut seperti pada table berikut:

Selisih kemiringan	Kemiringan					
		SMD	MD	S	MB	SMB
	MB	CCWF	CCWF	CCW	CCWS	Z
	M	CCWF	CCW	CCWS	Z	CWS
	S	CCW	CCWS	Z	CWS	CW
	B	CCWS	Z	CWS	CW	CWF
	BB	Z	CWS	CW	CWF	CWF

Aturan-aturan pada tabel diatas akan dirubah ke dalam bahasa pemrograman yang selanjutnya akan diproses melalui defuzzyfikasi yaitu menentukan nilai COG (*Center of Gravity*).

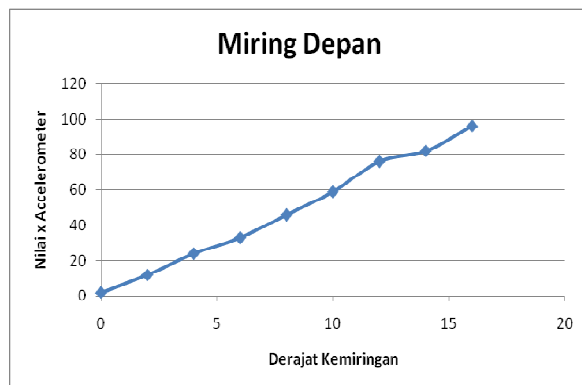
#### 4. PengujianAlat

Pengujian pada sensor kemiringan dengan menggunakan sensor *Gyro* tipe H48C yang dihubungkan pada mikrokontroler dan datanya langsung dibaca pada LCD. Pengujian dilakukan dengan mengubah-ubah kemiringan pada sensor, maksimum kemiringan kendaraan ini dibatasi sebesar 8° dari titik seimbangnya. Perubahan nilainya seperti pada table berikut:

Kemiringan (°)	Nilai x data pada LCD	
	Miring Depan	Miring Belakang
0	2	-4
2	12	-14
4	24	-25
6	33	-36

8	46	-49
10	59	-61
12	76	-79
14	82	-91
16	96	-103

Berikut adalah grafik nilai output accelerometer saat kendaraan miring ke depan:



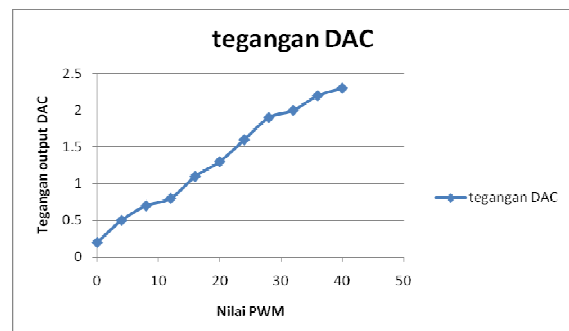
Berikut adalah grafik nilai output accelerometer saat kendaraan miring ke belakang:



Pengujian Motor DC Brushless untuk mengetahui kecepatan putaran motor ini saat diberikan input berupa tegangan yang dihasilkan pada rangkaian Frequency to Voltage. Dari hasil uji pemberian nilai output, diperoleh nilai tegangan output seperti pada table berikut:

Nilai PWM	Tegangan output
0	0.2
4	0.5
8	0.7
12	0.8
16	1.1
20	1.3
24	1.6
28	1.9
32	2.0
36	2.2
40	2.3

Grafik nilai diatas ditunjukkan pada gambar berikut:



## 5. Kesimpulan

Dari beberapa pengujian yang dilakukan terhadap beberapa komponen pada sistem ini dapat disimpulkan bahwa:

- Sensor Accelerometer H48C yang digunakan mempunyai data yang cukup linier sehingga sangat cocok digunakan pada sistem keseimbangan proyek akhir ini.
- Motor DC Brushless pada system ini masi mempunyai hentakan saat putaran dibalik dari arah CW ke arah CCW.
- Desain mekanik kurang cocok karena terlalu berat pada bagian depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indra Adji Sulistijono, Materi Kuliah Kontrol Cerdas, PENS-ITS 2009
- [2] Zoel Fachri, “*Perencanaan Balancing Robot Dengan Dua Roda*” Proyek Akhir PENS-ITS 2007
- [3] Handry Koswanto, “*Keseimbangan Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Fuzzy Logic*” Proyek Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2008
- [4] Kuswadi S., Sigit R., Maret 1996, “*Pengembangan algoritma Kontrol Logika Fuzzy Swa-Atur Secara Heuristik*”, PENS-ITS, Indonesia
- [5] Grasser, Felix., D’arrigo, Aldo., Colombi, Silvio., Rufer, Alfred., 2001, “*JOE: A Mobile, Inverted Pendulum*”, *Laboratory of Industrial Electronics Swiss Federal Institute of Technology Lausanne.*
- [6] <http://www.parallax.com>
- [7] <http://www.datasheetdir.com/Atmega32L8MC+AVR-microcontrollers>
- [8] [http://sg.renesas.com/applications/motor\\_control/child\\_folder/fundamental\\_child.jsp](http://sg.renesas.com/applications/motor_control/child_folder/fundamental_child.jsp)